

# Kältebranche im Umbruch

**KOHLENWASSERSTOFFE ANSTATT HALOGENIERTE KÄLTEMITTEL** Mit dem Verbot bzw. der Beschränkung von fluorierten Kältemitteln (F-Gase) steht die Kälte- und Wärmepumpenbranche vor enorm hohen Herausforderungen. Eindrücke vom DKV-Kolloquium »Kohlenwasserstoffe – brennbare Kältemittel. Gesetzliche Grundlagen und Anlagenbeispiele«, das im September 2019 in München stattfand.

Die zukünftige Kältetechnik wird sich gravierend von den bisherigen Gepflogenheiten mit synthetischen Kältemitteln unterscheiden. Durch den erzwungenen Ausstieg aus den HFKW-Sicherheits-Kältemitteln bewegt sich das Angebotsspektrum hin zum Einsatz von brennbaren und giftigen Kältemitteln sowie zu sogenannten Hochdruck-Kältemitteln, zum Beispiel CO<sub>2</sub> oder zu Hydrofluorolefinen (HFO). Letztere, wie beispielsweise das Kältemittel R1234yf, sind jedoch wegen ihrer Zerfallsprodukte in der Atmosphäre zu Trifluoressigsäure (TFA) umstritten. Diese gelangt mit den Niederschlägen in Böden und Gewässer und damit auch ins Trinkwasser. Das Umweltbundesamt empfiehlt deshalb rundweg den Einsatz halogenfreier Kältemittel.

Aufgrund dieser fast disruptiven Veränderungen in der Kältebranche hat das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) ein spezielles Förderprogramm für Kälte- und Klimaanlage mit nichthalogenierten Kältemitteln aufgelegt, kurz Kälte-Klima-Richtlinie genannt.

Dipl.-Ing. Jörn Schwarz, Ice-Tex Ingenieurbüro, Sponholz-Rühlow, erläuterte in seinem Vortrag wie anspruchsvoll die künftigen Anforderungen des Gesetzgebers an kältetechnische Anlagen sind und welche umfangreiche Vorarbeit zu leisten ist, um die Fördervoraussetzungen zu erfüllen. Für stationäre Kälteanlagen gelten folgende Bedingungen:

- nur Kälteanlagen mit nicht-halogenierten Kältemitteln werden gefördert
- die Kälteanlage muss neu errichtet bzw. neu installiert werden
- gefördert werden auch ergänzende Komponenten, die den, Zitat, »klimaschützenden Betrieb des Gesamtsystems zusätzlich verstärken«, beispielsweise Wärmepumpen sowie Wärme- und Kältespeicher (auch Eis- und andere Latentspeichersysteme).

Im Detail geht es um folgende Bereiche:

- Flüssigkeitskühlsätze mit Kältemitteln der Sicherheitsklasse A3 (gering toxisch, hoch

- entzündlich) – Propan (R290), Propen (R1270), Isobutan (R600a), Ethan (R170)
- Flüssigkeitskühlsätze mit Kältemitteln der Sicherheitsklasse B2 und B2L (erhöht toxisch, schwer entzündbar) – Ammoniak (R717), Gemisch aus Ammoniak und Dimethylether (R723).

Die Förderung ist jeweils auf definierte Leistungsbereiche eingegrenzt. Wichtig ist, dass die geförderten Anlagen der Ökodesign-Richtlinie und dem Auslegungspunkt bei Vollast entsprechen.

Anträge auf Förderung müssen vor Beginn des Bauvorhabens beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) eingereicht werden. Die Gültigkeit der Richtlinie ist bis zum 31.12.2021 begrenzt (Bild 1).

## Nachhaltigkeit durch frühzeitigen Umstieg

Während auch namhafte Unternehmen weiterhin halogenierte Kältemittel als »nachhaltig«

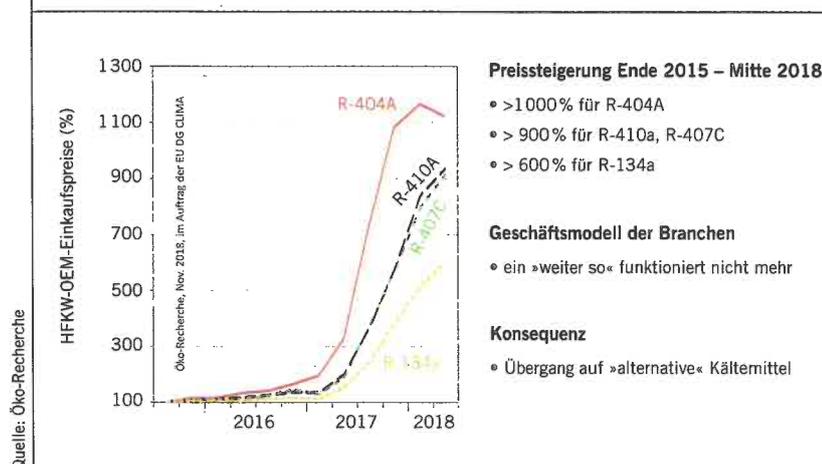


### AUF EINEN BLICK

**KOHLENWASSERSTOFFE** könnten die Position der F-Gase weitgehend einnehmen, stoßen aber aufgrund ihrer Brennbarkeit auf Vorbehalte

**AUCH DAS KLIMANEUTRALE** Hochdruck-Kältemittel CO<sub>2</sub> kann sich trotz Erfolgen bei der Lebensmittelkühlung wegen des größeren anlagentechnischen Aufwands noch nicht auf breiter Basis durchsetzen

## Preisänderungen in Folge der F-Gase-VO (und des Kigali-Amendments)



**Bild 1.** Die Preissteigerungsraten bei den F-Gasen liegen heute bereits zwischen 500% und über 1000%. Damit neigt sich das früher sehr lukrative Geschäftsmodell dem Ende zu. Der Übergang zu alternativen Kältemitteln ist unausweichlich



**Bild 2:** Die Roche Diagnostics GmbH hat 2018 den bayerischen Responsible-Care-Wettbewerb mit dem Projekt »Umweltfreundliche Kälteerzeugung – Umstellung der Kälteanlagen auf natürliche Kältemittel« gewonnen: Gewürdigt wurde insbesondere der konzernweite Ausstieg aus der Verwendung halogenierter Kältemittel, weit vor der Einleitung regulatorischer Auflagen

und »zukunftsicher« propagieren, hat das im oberbayerischen Penzberg ansässige Pharmaunternehmen Roche Diagnostics GmbH bereits vor 15 Jahren den Entschluss gefasst, konzernweit vollständig aus der Verwendung halogener Kältemittel auszusteigen. Aktuell werden am Standort Penzberg 400 Kühl- und Tiefkühlräume, 1200 Tiefkühlschränke –80°C, 7000 Gefrier- und Kühlschränke sowie 30 Groß-Gefrier-trocknungsanlagen mit natürlichen Kältemitteln (R290, R774, R718, R717, R1270 und R170) betrieben.

Die gesamte Kälteversorgung am Standort Penzberg ist kaskadiert aufgebaut mit einer zentralen Kühlwasserversorgung (über NH3-Anlage), Wasser-Glykol-Kreislauf für die Rückkühlung der Propananlagen und Pluskühlräume sowie über einen –10°C Pufferspeicher mit Wasser-Glykolkreislauf für die Rückkühlung der CO<sub>2</sub>-Kältesätze und der Tiefkühlräume (1. Stufe Propan, 2. Stufe Ethan/Ethen). Auf luftgekühlte Anlagen wurde bewusst verzichtet. Durch die Kühlkreisläufe lässt sich die Abwärme auch für Wärmepumpen nutzen, bzw. über freie Kühlung abfahren.

Georg Grünwalder, Gruppenleiter Kältetechnik bei Roche in Penzberg, berichtet, dass vor 15 Jahren die Kälteindustrie praktisch keine Kältegeräte mit brennbaren Kältemitteln liefern konnte und Roche dadurch gezwungen war, eigene Lösungen zu entwickeln und diese in Zusammenarbeit mit

einem externen Hersteller umzusetzen. Diese Vorgehensweise hatte den Vorteil, dass alle mit natürlichen Kältemitteln arbeitenden Kältegeräte auch Kältemittel-minimiert sind und damit die sicherheitstechnischen Vorgaben einfacher zu realisieren waren. Die kleinteilige, von den Sicherheitsauflagen vorgegebene Leistungsaufteilung habe gleichzeitig den Vorteil einer höheren Redundanz, so Grünwalder. Alle Geräte und Anlagen werden direkt überwacht, so dass jegliche Abweichungen automatisch registriert werden.

Ein Sicherheitskonzept mit Vor- und Hauptalarm soll vermeiden, dass sich bei Undichtigkeiten in den Kältekreisläufen explosionsfähige Gas-Luft-Gemische bilden. Im Fall einer Havarie (Gas-Alarm) werde beispielsweise direkt am jeweiligen Chiller die Luft abgesaugt. Wo immer notwendig und sinnvoll sind die Kälteerzeuger in sogenannten Containments installiert, die über ein ausgeklügeltes Abluftsystem mögliche Leckgase direkt an die Außenluft weiterleiten.

Trotz der vielen Geräte und Anlagen liegt die Anzahl der Leckagen bei unter 20 pro Jahr, wobei es sich fast ausschließlich um schleichende Kältemittelverluste handelt.

Nach mehr als elf Jahren Betrieb resümiert Grünwalder:

- Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln haben einen höheren Flächenbedarf
- durch die gestiegenen Sicherheitsanforderungen hat sich der Aufwand für Gaswarnanlagen erhöht

- Komponenten für natürliche Kältemittel sind heute am Markt keine Exoten mehr
- Propan- und CO<sub>2</sub>-Kälteaggregate sind sehr betriebssicher
- die Ersatzteilverfügbarkeit ist inzwischen unkritisch.

Mit diesem Pionierprojekt hat das Unternehmen den bayerischen Responsible-Care-Wettbewerb 2018 des Verbandes der chemischen Industrie e.V. (VCI) gewonnen. Das Projekt habe Vorbildcharakter, ein großes Potenzial und setze neue Maßstäbe in der Kältetechnik, so die Jury (**Bild 2**).

### Explosionswirkung von R32 wird unterschätzt

Von Kälteanlagen, die mit einem brennbaren Kältemittel betrieben werden, geht ein höheres Risiko aus als von Anlagen mit halogenierten Kältemitteln. Die Risikoanalyse wird deshalb künftig zum verpflichtenden Prozess bei der Planung, beim Bau und beim Betrieb von kältetechnischen Einrichtungen gehören, die mit brennbaren Kältemitteln betrieben werden. Allerdings sei das Risiko in kältetechnischen Anlagen mit brennbaren Kältemitteln sehr klein, wenn alle Vorschriften und Richtlinien eingehalten werden, so Holger König, Ingenieurbüro ref-tech, Lindau.

Wichtig sei, vor Beginn der Planung ein vertretbares Risiko zu definieren, die Schadenswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß abzuschätzen und darauf die Risikoanalyse aufzubauen. Vereinfacht gesagt besteht ein Risiko, wenn Leckage-Ereignis, Zündquelle und brennbare Atmosphäre gleichzeitig auftreten. Wichtig sei jedoch, neben dem Normalbetrieb auch betriebliche Unsicherheiten (nicht normaler Betrieb) durch unkundiges Personal sowie mögliche nicht vorhersehbare Ereignisse auf der Basis bisheriger schwerer Unfälle mit brennbaren Kältemitteln mit einzubeziehen. Oft führe ein mangelhaftes Gehäuse-Design zu Explosionen mit fliegenden Teilen, die durch ein »definiertes Entfalten« des Containments hätten vermieden werden können.

Typische Fehlerursachen seien, so König, unsachgemäßer Service (Beispiel R290-Anlage in Dissen), gefälschte Kältemittel (R40, Chlormethan, leicht brennbar, als Ersatz für R134a bei Container-Kälteanlagen) oder zu hohe Kältemittelfüllmengen bei Anlagen, die für Füllmengen <150 Gramm ausgelegt sind. Auch werde die Explosionswirkung von R32 gegenüber R290 unterschätzt. Hohe Feuchtigkeit und hohe Temperaturen würden die Brennbarkeitsgrenzen von Kältemit-

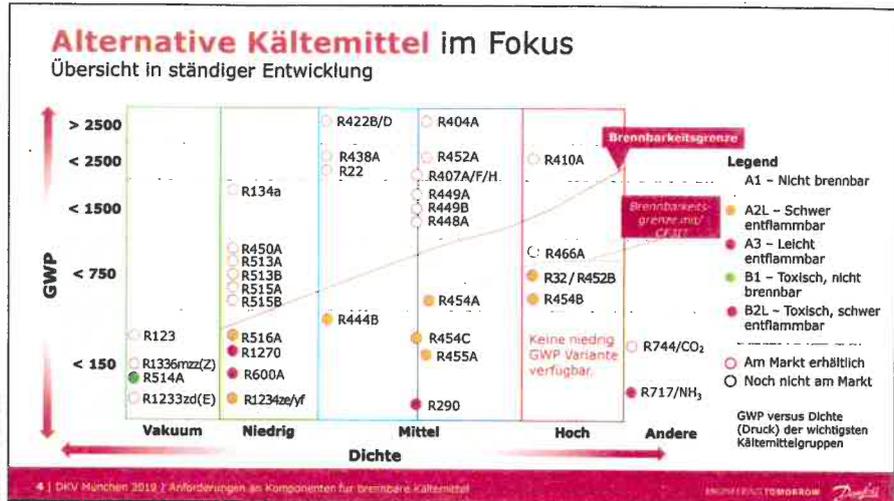
Quelle: Roche Diagnostics

teln der Sicherheitsgruppe A1 (geringe Giftigkeit, keine Flammausbreitung) verschieben. *Holger König* dazu: »Die Sicherheitsklassifizierung nach EN378-1, Anhang E ist ein unzureichendes Designkriterium und hat nur eine eingeschränkte Bedeutung auf die Sicherheit.« Umso wichtiger sei es, künftige Entwicklungen bei Kälteanlagen mit brennbaren bzw. natürlichen Kältemitteln einem Risikoanalysen-Prozess zu unterziehen, denn nur so könne das tatsächliche Risiko – auch von vorhersehbarem Missbrauch und Fehlanswendungen – minimiert werden, so König.

### Kältemarkt wird sich an den Brennbarkeitsgrenzen orientieren

Brennbare Kältemittel wurden lange Zeit von der Mehrheit der Kälteanlagenbauer ignoriert. Entsprechend gering war das Angebot an geeigneten Komponenten. Nun scheint sich der Markt neu zu formieren, ausgerichtet an den Sicherheitsklassen brennbarer Kältemittel. *Norbert Blatz*, Danfoss GmbH, Offenbach, sieht deshalb im Markt für Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln ein langfristiges Potenzial. Nun gelte es, die Normungs- und Richtlinienarbeit voranzutreiben, sagt Blatz. Internationale Standards werden bereits auf die brennbaren Kältemittel abgestimmt. Allerdings hinken die USA als wichtiger Markt für kältetechnische Komponenten der Entwicklung hinterher. China habe inzwischen eigene Standards für brennbare Kältemittel auf den Weg gebracht. *Blatz* wies darauf hin, dass bestehende Normen und Richtlinien aktuell nicht zwangsläufig aufeinander abgestimmt sind.

Aus wirtschaftlichen Überlegungen sei es wichtig, die passenden Komponenten zur jeweiligen Sicherheitsklasse anzubieten, denn nicht jede Anlage müsse den strengen ATEX-Richtlinien entsprechen. Wichtigstes Ziel sei, dass Anlagen so gebaut werden, dass sie dauerhaft dicht seien. Allerdings könne eine Risikoanalyse womöglich einen höheren Sicherheitsstandard verlangen. Insgesamt erfordern die Planung und der Bau von Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln mehr Sorgfalt bei der Anordnung der Komponenten, beispielsweise von Heizelementen, Schaltern, Schützen sowie von Ventilatoren zur Absaugung von Leckagen. Auch müsse durch Konstruktions- und Montagespezifikationen garantiert werden, dass die Oberflächentemperaturen der Komponenten immer 100K unterhalb der Selbstentzündungstemperatur des verwendeten Kältemittels liegen (**Bild 3**).



**Bild 3:** Die Brennbarkeitsgrenzen von Kältemitteln und damit die Sicherheitsklassen werden künftig den Markt für kältetechnische Geräte und Anlagen maßgeblich beeinflussen

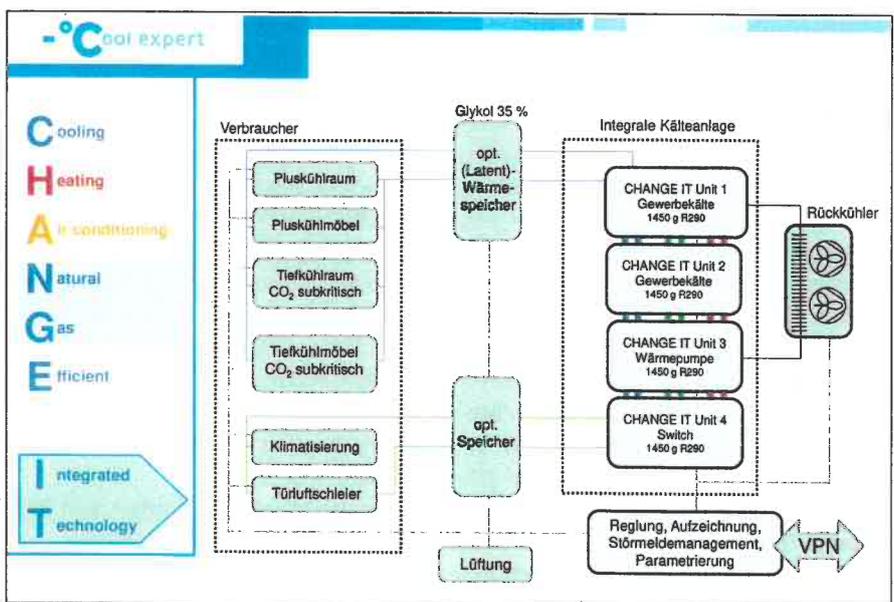
### Dezentral und kaskadiert

Explodierende Preise für halogenierte Kältemittel und deren hohes Treibhauspotenzial haben die Cool Expert GmbH, Allendorf/Eder, frühzeitig dazu bewogen, nur noch umweltneutrale Kältemittel wie Wasser, Propan und CO<sub>2</sub> einzusetzen. Das von der Firma entwickelte Blue-Cool-Concept gilt inzwischen als Blaupause für kältetechnische Anwendungen in der Lebensmittelkühlung. Mangels passender Komponenten hat das Unternehmen viele Teile selbst entwickelt und für den Einsatz mit Propan und CO<sub>2</sub> optimiert.

Das Konzept basiert auf leicht auswechselbaren, vorgefertigten Kältemodulen. Diese so-

genannten Change-IT-Units enthalten aus Sicherheitsgründen maximal 1450g Propan je Einheit. Damit wird auch die BAFA-Forderung nach einer Minimierung der Füllmenge auf <80g/kW Kälteleistung erfüllt. Diese Units sind so konzipiert, dass sie die Grundkälte für die Lebensmittelkühlung mittels Kaltssole zur Verfügung stellen, als Wärmepumpe für die Temperierung des Shops eingesetzt werden können und jederzeit als Redundanz (Switch) fungieren. Im Falle eines Defekts wird das jeweilige Modul, Zitat, »mithilfe von nur drei Werkzeugen« ausgetauscht und im Werk repariert.

Schnittstelle zur eigentlichen Lebensmittelkühlung sind Glykolspeicher, die optional als Wärme- oder Kältespeicher betrieben werden.



**Bild 4:** Das Cool-Expert-System ist mehrstufig aufgebaut: das Kältemittel Propan für die Normalkühlung, Klimatisierung und Wärmepumpe für Heizung und Trinkwassererwärmung; das Kältemittel CO<sub>2</sub> unter Nutzung des Temperaturniveaus der Normalkühlung (Kaltssole) für Tiefkühl-Verbraucher

Diese versorgen Pluskühlraum und Pluskühlmöbel sowie die Shop-Klimaanlage und Türluftschleier direkt mit -6°C kalter Sole. Tiefkühlräume mit CO<sub>2</sub> subkritischem Kälteaggregat (3600g CO<sub>2</sub>/R744 pro Unit) nutzen den Glykolkreislauf zur Abgabe der Verflüssigerwärme. Anstatt einer zentralen Glykolumwälzpumpe ist jede Kühlstelle mit einer dezentralen Pumpe ausgerüstet, die automatisch überwacht wird. Eine Besonderheit ist der Verzicht auf elektrische Abtaueinrichtungen (übliche Heizstärke 200°C - 300°C Arbeitstemperatur). Stattdessen werden die Kühlstellen mittels Warmsole in einem patentierten Rohr-in-Rohr-System schonend abgetaut.

Anhand der bisherigen Erfahrungen mit dem Blue-Cool-Concept ergibt sich, nach Aussagen von *Simon Brieden*, folgender Kundennutzen:

- hohe Qualitätssicherung der gekühlten Ware durch dezentrale Kühlstellenregler
- maximale Anlagenverfügbarkeit durch Modultechnik
- keine Vereisungsprobleme
- niedrige Betriebs- und Servicekosten
- 6% Energieeinsparung gegenüber den heute üblichen R401A-Integral-Kälteanlagen
- mehr als 25% Energieeinsparung auf der Kühlstellenseite (gegenüber Stand der Technik)
- mehr als 65% Energieeinsparung durch die Wärmerückgewinnung aus dem Solekreislauf gegenüber einer separaten Gas-Zentralheizung
- hohe Förderung durch BAFA (Bild 4).

### Waterloop für kleine Märkte interessant

Ein ähnliches Konzept wie Cool Expert verfolgt auch die *Epta Deutschland GmbH*, Mannheim, mit ihrem Waterloop-System, d.h. alle Kühlmöbel und Kühlräume sind über einen Wasserkreislauf miteinander verbunden, um die Kondensatorenwärme abzuführen. Auch bei Epta ist jedes Kühlmöbel mit einem eigenen R290-Kühlaggregat ausgestattet. Durch die Minimierung der Kältemittelfüllmenge auf 150g je Propan-Kältekreislauf sind keine besonderen Anforderungen an den Aufstellungsraum nötig. Bei größeren Kühlmöbeln können es bis zu drei separate Kreisläufe sein. Die im Waterloop gesammelte Abwärme wird im Sommer über einen Rückkühler direkt an die Umgebung abgegeben oder zur Trinkwassererwärmung genutzt. Im Winter besteht die Option, das Temperaturniveau mittels einer Wärmepumpe auf Heiztemperaturen anzuheben. Epta

setzt dazu auch CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen ein, die sowohl Warmwasser auf Heizniveau erzeugen als auch gekühltes Wasser auskoppeln.

Im Vergleich zu konventionellen Kälteanlagen schneiden Waterloop-Anlagen energetisch weit besser ab, sind ausfallsicherer und flexibler durch die »halb-steckerfertigen« Module. Als Schwachpunkt gilt eher die fehlende Qualifikation des Kältehandwerks, das erst noch Erfahrungen mit Propan-Kälteanlagen und der Wasserhydraulik sammeln muss.

### Maßgeschneidert anstatt Katalogware

Die Geiz-ist-geil-Mentalität prägte lange Zeit das Kaufverhalten auch in der Gebäudetechnik. Bei den Flüssigkeitskühlern – salopp Chiller genannt – entschieden sich viele Planer bzw. Anlagenbauer für sogenannte Katalogmaschinen, die mehr oder weniger zu den Planungsdaten passten. Hauptsache billig! Hauptsache kalt! Mit dem Ausstieg aus den F-Gasen dürfte die Ära der Billigheimer unter den Kältemaschinenherstellern vorbei sein, denn neben den Investitionskosten legen die Betreiber solcher Anlagen vermehrt Wert auf grüne Technik, überzeugende Lebenszykluskosten sowie Unterstützung beim Antrag von Fördergeldern.

Die absehbaren Veränderungen bei den Kältemitteln sowie die Tendenz zu natürlichen Kältemitteln hat engagierte Kältespezialisten im Jahr 2014 dazu bewogen, die Firma GCM Kältesysteme GmbH, Neumark/Vogtland, zu gründen. Dabei steht GCM für German Chiller Manufacturer und der Slogan lautet »Kälte von morgen – Made in Germany«. GCM-Geschäftsführer *Wolfgang Hausmann* ist überzeugt, dass die Investitionskosten von Chillern künftig eher in den Hintergrund treten und die Lebenszykluskosten, der Einsatz umweltschonender »grüner« Kältemittel, einfach zugänglicher Ersatzteile sowie Unterstützung bei Planung, Realisierung und Betrieb der Anlagen mehr in den Vordergrund treten. Die wichtigsten Ziele von GCM:

- Kältemaschinen nach Maß
- hohe Energieeffizienz/geringe Energiekosten
- Einsatz natürlicher Kältemittel wie Ammoniak, Propan u. a.
- Bau von förderfähigen Anlagen nach BAFA
- Einsatz hochwertiger Komponenten
- fünf Jahre Gewährleistung im Zusammenhang mit einem Wartungsvertrag.

Für Wasserkühlsätze favorisiert *Hausmann* das Kältemittel NH<sub>3</sub> (R717), da es dauerhaft kostengünstig ist, das Kältemittel eine hohe Verdampfungsenthalpie besitzt (= kleine



Quelle: Wolfgang Schmid

**Bild 5:** Andere Länder, andere Sicherheitsbedürfnisse: Von diesen sogenannten 420-lb-Propan-Zylindern (à 375l) dürfen in Kanada bis zu drei Zylinder frei zugänglich an einer Hauswand aufgestellt werden.

Massenströme) und sehr gute thermodynamische Eigenschaften sowie ein Treibhauspotenzial von GWP = 0 aufweist.

Energievergleiche von einem GCM-Chiller mit »Katalogware« hätten bei einem 440kW Flüssigkeitskühler (Wassereintritt/-austritt 20/15°C, 6000 Betriebsstunden/a, 35°C Außentemperatur) ergeben, dass die Kosteneinsparung der GCM-Maschine aufgrund des höheren EER-Wertes (5,56) nach zwei Jahren bei 80450€, nach fünf Jahren bei 201 130€ liegt. Solche Anlagen werden von BAFA mit bis zu 20% der Investitionskosten gefördert.

### Fazit

Der Markt für Kältegeräte und Kälteanlagen dreht sich zugunsten natürlicher »grüner« Kältemittel, wobei brennbare Stoffe künftig die Hauptrolle spielen werden. Die Hemmnisse in der Umsetzung liegen hauptsächlich im noch unvollständigen Regelwerk und im Mangel an Know-how bei den Kälteanlagenbauern. Der erfolgreiche Vorstoß der Pioniere halogenfreier Kühlverfahren, die Fördermittel der BAFA und nicht zuletzt die aktuelle Klimadiskussion lässt vermuten, dass die Ära der halogenierten Kältemittel schon aus Gründen der Investitions-Absicherung früher zu Ende gehen wird als durch den F-Gase-Phase-down vorgesehen.

### AUTOR

**Wolfgang Schmid**  
freier Fachjournalist für Technische Gebäudeausrüstung, München